
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA MINISTRO RALPH BIASI
Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação

Lucas Murilo Canuto

ESTUDO DE REDES ÓPTICAS COM VERIFICAÇÃO DE ERROS

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA MINISTRO RALPH BIASI
Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação

Lucas Murilo Canuto

ESTUDO DE REDES ÓPTICAS COM VERIFICAÇÃO DE ERROS

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido em cumprimento à exigência curricular do Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação, sob a orientação do Prof. Me. Maxwel Vitorino Da Silva

Área de concentração: Segurança da informação

Americana, SP

2020

FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Americana - CEETEPS
Dados Internacionais de Catalogação-na-fonte

C235e CANUTO, Lucas Murilo

Estudo de redes ópticas com verificação de erros. / Lucas Murilo
Canuto. – Americana, 2020.

34f.

Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Segurança da
Informação) - - Faculdade de Tecnologia de Americana – Centro Estadual
de Educação Tecnológica Paula Souza

Orientador: Prof. Ms. Maxwell Vitorino da Silva

1 Segurança em sistemas de informação 2. Fibra óptica I. SILVA,
Maxwel Vitorino da II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula
Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana

CDU

Lucas Murilo Canuto

ESTUDO DE REDES ÓPTICAS COM VERIFICAÇÃO DE ERROS

Trabalho de graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Segurança da Informação pelo CEETEPS/Faculdade de Tecnologia – FATEC/ Americana.

Área de concentração: Segurança da informação.

Americana, 2 de dezembro de 2020.

Banca Examinadora:

Prof. Ms. Eng. Maxwell Vitorino da Silva (Presidente)
FATEC Americana

Dr. Renato Kraide Soffner (Membro)
FATEC Americana

Dr. José Martins Junior (Membro)
FATEC Americana

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador professor Maxwell Vitorino Da Silva por aceitar conduzir meu trabalho.

Aos meus pais Nair e Moacir que sempre estiveram ao meu lado me apoiando.

À minha noiva Stephanie pela compreensão e amor incondicional demonstrada durante toda minha trajetória na faculdade.

RESUMO

Diante do constante crescimento na demanda de transmissão de dados no mundo, a fibra óptica é a solução ideal para ser usada como tecnologia de transmissão. Combinada com diversas arquiteturas é possível popularizar o uso da fibra óptica. Mas para que a internet funcione não basta apenas de um meio de transmissão, existem diversos protocolos, sistemas e subsistemas. Como em todo sistema físico existem erros na hora de transmitir os dados na fibra óptica, um desses sistemas é responsável por detectar os erros na transmissão. Este estudo realizou um levantamento bibliográfico com o objetivo de comparar as diversas tecnologias usadas nas redes de fibra óptica com conceitos técnicos sobre tipos de fibra óptica, arquiteturas FTTX e tecnologia PON além de introduzir o assunto de detecção de erros na rede óptica. Todos o enlace óptico está sujeito a erros que são ocasionados por interferência na hora da comunicação, uma das principais necessidades de uma rede é garantir a entrega íntegra dos seus dados. Para garantir a integridade são usados códigos de detecção de erros. Os códigos para detecção de erros apresentados nesse trabalho são aplicados na camada de enlace do protocolo TCP/IP. Para concluir o estudo, foi implementado no software MATLAB um código de verificação de erros usando técnica de paridade, chamado verificação cíclica de redundância (CRC). Utilizando funções existentes no software, sendo assim, foi possível simular a transmissão de pacotes em uma rede de fibra óptica e provocar erros nos dados. O código implementado foi utilizado para contabilizar todos os erros que ocorreram na simulação com a variação da relação sinal ruído (SNR).

Palavras-Chave: Fibra óptica; detecção de erro; verificação de redundância cíclica.

ABSTRACT

In view of the constant growth in the demand for data transmission in the world, optical fiber is the ideal solution to be used as transmission technology. Combined with several architectures it is possible to popularize the use of optical fiber. But for the internet to work, it is not enough just a means of transmission, there are several protocols, systems and subsystems. As in any physical system there are errors when transmitting data over optical fiber, a system is responsible for detecting errors in the transmission. This study carried out a bibliographic survey in order to compare the various technologies used in fiber optic networks with technical concepts about the types of fiber optics, FTTX architectures and PON technology, in addition to introducing the subject of error detection in the optical network. All the optical link is subject to errors that are caused by interference at the time of communication, one of the main needs of a network is to guarantee the full delivery of your data. To ensure the integrity of error detection codes. The error detection codes at work are working at the tcp / ip protocol layer. To complete the study, an error checking code was implemented in the Matlab software using the parity technique, called cyclic redundancy check (CRC). Using existing functions in the software, it was possible to simulate the transmission of packets on a fiber optic network and cause errors in the data. The implemented code was used to account for all errors that occurred in the simulation with the variation of the signal-to-noise ratio (SNR).

Keywords: Optical fiber; error detection; cyclic redundancy check.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO-----	09
2	REDE DE ACESSO -----	10
3	FIBRA ÓPTICA -----	11
3.1	SEGURANÇA EM REDES DE FIBRA ÓPTICA -----	13
4	REDES FTTX -----	14
4.1	REDE FTTN -----	14
4.2	REDE FTTC -----	14
4.3	REDE FTTB -----	15
4.4	REDE FTTH -----	15
4.5	TECNOLOGIA PON-----	16
4.6	APON-----	17
4.7	BPON-----	18
4.8	EPON-----	19
4.9	GPON -----	20
5	INTEGRIDADE -----	22
6	CAMADA DE ENLACE -----	23
6.1	ENLACE SUJEITO A ERROS DE BITS -----	23
6.2	DETECÇÃO DE ERROS NA CAMADA DE ENLACE-----	24
6.3	VERIFICAÇÕES DE PARIDADE -----	24
6.4	VERIFICAÇÃO DE REDUNDÂNCIA CÍCLICA-----	25
6.5	MODULAÇÃO BPSK-----	27
7	IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO CRC EM MATLAB-----	28
7.1	RESULTADOS-----	29
	CONCLUSÃO-----	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fibra óptica-----	11
Figura 2 – Fibra multimodo-----	12
Figura 3 – Fibra monomodo-----	12
Figura 4 - FTTN -----	14
Figura 5 - FTTC -----	15
Figura 6 - FTTB-----	15
Figura 7 - FTTH -----	15
Figura 8 - Topologia PON-----	16
Figura 9 - Principais arquitetura PON -----	17
Figura 10 - Arquitetura APON -----	18
Figura 11 - Arquitetura BPON -----	19
Figura 12 - Arquitetura EPON -----	20
Figura 13 - Arquitetura GPON-----	21
Figura 14 – Cenário para detecção e correção de erros. -----	24
Figura 15 – Pacote transmitido-----	25
Figura 16 – Cálculo no transmissor -----	26
Figura 17 – Cálculo no Receptor -----	27
Figura 18 – Modulação BPSK -----	28
Figura 19 – Algoritmo para análise de erros-----	28
Figura 20 – Dados transmitidos-----	30
Figura 21 – Dados em números complexos -----	30
Figura 22 – Diagrama de constelação -----	31
Figura 23 – Resultados-----	31

1 INTRODUÇÃO

A questão da conectividade mundial não é mais novidade para ninguém, a popularização das redes sociais, jogos, serviços de *streaming* além da facilidade para se comunicar e trabalhar torna a rede mundial de computadores ferramenta essencial para vida de qualquer pessoa.

Esta dependência incentiva o constante crescimento das tecnologias envolvidas para o funcionamento da internet.

Segundo Pinheiro (2017) as redes de fibra óptica atualmente é a solução mais viável para atender as necessidades atuais e as necessidades futuras.

A fibra óptica é o meio ideal para transmissão de dados, alta velocidade de tráfego e pouca perda de sinal, essas características tornam a tecnologia a escolha ideal para uma rede mundial de computadores.

Além dos meios de transmissão, para que este vasto sistema chamado internet funcione é necessário a utilização de diversos protocolos, sistemas e subsistemas.

Para que a internet seja usual não basta apenas uma boa performance ao transmitir os seus dados, também é necessário garantir integridade dos bits que são transmitidos.

E como em toda transmissão existem erros causados nos sistemas físicos, para garantir a integridade é necessário criar mecanismos para detecção dos erros.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a utilização e o funcionamento de redes de fibra óptica, e como é feito a detecção de erro na camada de enlace usando código CRC.

2 REDE DE ACESSO

Os sistemas de comunicação do mundo é uma combinação de diversas tecnologias de rede, aplicação e gerenciamento resultando em um sistema de alta complexidade e valor elevado (TRONCO, 2006).

Segundo Pinheiro (2017) as redes de telecomunicações são divididas em três segmentações nó de processamento, rede de transporte e rede de acesso. No nó de processamento ocorre o compartilhamento de dados entre diversos usuário da rede, ou seja, é o ponto de conexão do usuário com a rede.

A rede de transporte é o elemento responsável pela ligação dos nós de processamento e apresenta tipos diferentes de mídias para a conexão, tais como: sistemas sem fio, fibra óptica, cabos de cobre (par trançado ou coaxial) ou a combinação de todos estes meios.

A rede de acesso é quem realiza a interligação do usuário final aos nós de processamento é dividida entre a rede pública (rede externa) e rede privada (rede interna), e pode ser do tipo passiva, apenas com funções de conexões ou ativa com conversão de protocolos e sinais. De uma forma mais simples, a rede de acesso é a última milha da rede.

3 FIBRA ÓPTICA

A fibra óptica é um meio de propagação da luz, onde cada pulso representa um bit. Cada fibra tem uma capacidade elevadíssima de carregar dados por distâncias muito elevadas, além de não sofrer com interferências eletromagnéticas. (KUROSE, 2013).

Segundo Pinheiro (2017):

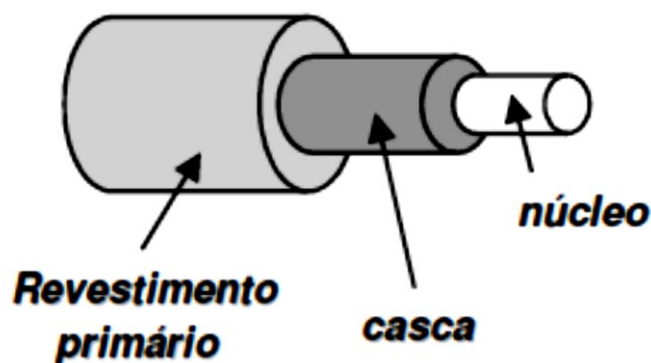
“O contínuo aumento das taxas de transmissão nos sistemas de transporte de telecomunicações atuais deve-se, principalmente, ao uso dos sistemas ópticos de comunicação. Foi com a descoberta e posterior utilização das fibras ópticas com baixas perdas, ocorrida na década de 1970, que se tornou possível atingir as centenas de gigabits por segundo.”

A fibra óptica é composta por um material dielétrico, normalmente sílica (vidro com impurezas) ou mesmo plástico que é capaz de confinar a luz em seu interior, possibilitado que os pulsos luminosos estabeleçam uma comunicação entre as extremidades do cabo.

Sua estrutura é formada por uma região central, chamada de núcleo, constituída de um material dielétrico vidro ou plástico. É a parte central por onde a luz é guiada. A casca da fibra é composta por um material com o índice de refração ligeiramente menor que o núcleo. O objetivo é obter um ângulo crítico o mais baixo possível para transmitir a maior quantidade de luz. Ao fim para isolar, a fibra é revestida por uma camada de nylon ou acrilato (PINHEIRO, 2017).

A Figura 1 é uma representação das camadas da fibra óptica.

Figura 1 - Fibra óptica

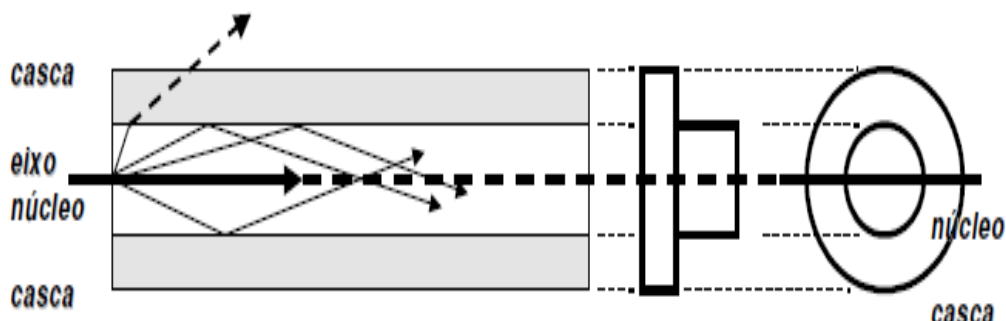


Fonte: FURUKAWA (2010)

Podem ser definidas duas categorias de fibras dependendo da forma como a luz se propaga no interior de cada núcleo, multimodais e monomodais.

A fibra multimodo possui o diâmetro do núcleo maior do que as fibras monomodais, de modo que a luz percorra todo o percurso da fibra por vários caminhos diferentes assim como pode-se observar na Figura 2 (PARKS, 2013).

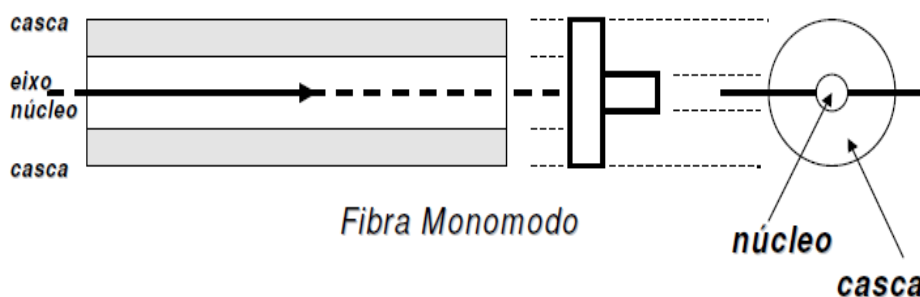
Figura 2 - Fibra multimodo



Fonte: FURUKAWA (2010)

A fibra óptica monomodo é adequada para aplicações que envolva grandes distâncias. Nas fibras monomodo a luz possui apenas um modo de propagação. Na Figura 3 é possível observar o funcionamento de uma fibra monomodo (PARKS, 2013).

Figura 3 - Fibra monomodo



Fonte: FURUKAWA (2010)

A necessidade de atingir taxas de transmissão na casa dos Gbps, como é o caso da tecnologia GPON (Gigabit Passive Optical Network), é necessário utilizar às fibras monomodo (PINHEIRO, 2017).

3.1 SEGURANÇA EM REDES DE FIBRA ÓPTICA

Redes de fibra óptica possuem um bom nível de segurança e privacidade, em condições normais de propagação, a luz não é irradiada a partir da fibra óptica, não podendo ser captada por um equipamento externo.

Diferente de cabos de cobre, as fibras não irradiam energia elétrica em seu interior, o que dificulta a detecção do sinal transmitido. No caso de cabos de cobre é possível realizar uma derivação ou *by-pass*, sem interromper a rede para ter acesso ao sinal. Já em um cabo óptico, seria necessário quebrar a fibra interrompendo o serviço e fundir um novo segmento para ter acesso ao sinal.

Durante a interrupção do sinal, o sistema de gerência detecta a falha e localiza a tentativa de alteração. Combinado com protocolos de criptografia é possível garantir um sigilo quase absoluto para a informação transmitida através de fibras ópticas. (PINHEIRO, 2017).

4 REDES FTTX

O termo FTTx é usado para designar arquitetura de redes de alto desempenho, baseada em tecnologia óptica.

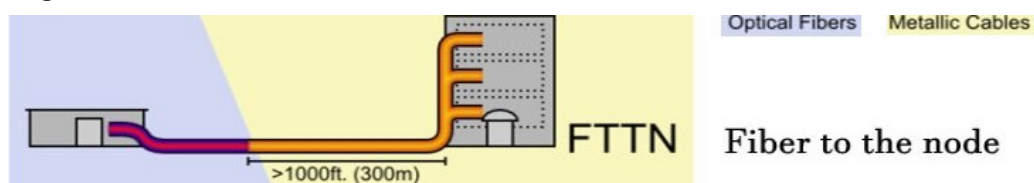
Nos últimos anos as redes estão sendo integradas. Soluções para a integração de provedores de telefonia, TV a cabo e serviços de Internet em nível mundial é possível devido às fibras ópticas e à convergência da tecnologia usando o Protocolo Internet (IP).

Com isso, tecnologias como Voz Sobre IP (VoIP), Televisão IP (IPTV), navegação em banda larga e videoconferência tornam-se cada vez mais corriqueiros. As principais redes FTTx são FTTN (Fiber To The Node), FTTC (*Fiber To The Curb*), FTTB (*Fiber To The Building*) e FTTH (*Fiber To The Home*) (PARKS, 2013).

4.1 REDE FTTN

De acordo com a Figura 4 na arquitetura FTTN a fibra óptica sai da central da provedora e vai até um armário de rua que se posiciona a mais de 300 m do ponto final, o resto da conexão é feita com cabo coaxial (PARKS, 2013).

Figura 4 - FTTN



Fonte: KABLOSU¹ (2018)

4.2 REDE FTTC

É possível observar na Figura 5 a arquitetura FTTC que é constituída por unidades remotas. Trata-se de levar a fibra até aos "armários" situados a um máximo de 300 m do ponto final, a partir dos quais se utilizará o par metálico para transportar o sinal de dados (PARKS, 2013).

¹ Disponível em: <https://www.agkabloso.com/index.php?route=blog/article&article_id=17>
Acesso em: 15 set. 19

Figura 5 - FTTC



Fonte: KABLOSU² (2018)

4.3 REDE FTTB

A Figura 6 é a representação da arquitetura FTTB que é uma rede de transmissão óptica, onde a rede *drop* na entrada de um edifício ou condomínio (Comercial ou Residencial) é feita como cabo de cobre.

A partir deste ponto terminal, o acesso interno é realizado geralmente através de uma rede com cabeamento estruturado (PARKS, 2013).

Figura 6 - FTTB

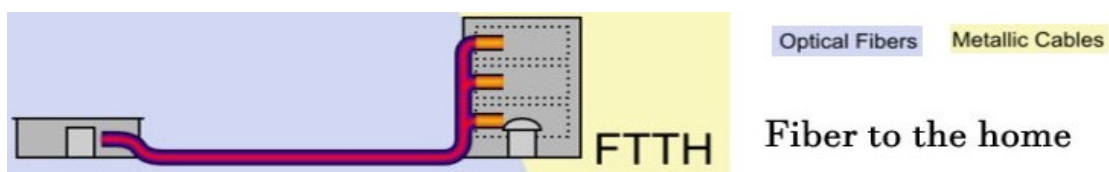


Fonte: KABLOSU³ (2018)

4.4 REDE FTTH

É apresentado na Figura 7 a arquitetura FTTH que é uma tecnologia que leva todas as fibras de cada usuário para um site central da operadora. Todo o trajeto até o usuário final é feito com fibra óptica (PARKS, 2013).

Figura 7 - FTTH



Fonte: KABLOSU⁴ (2018)

² Disponível em: <https://www.agkablosu.com/index.php?route=blog/article&article_id=17>
Acesso em: 15 set. 19

³ Disponível em: <https://www.agkablosu.com/index.php?route=blog/article&article_id=17>
Acesso em: 15 set. 19

⁴ Disponível em: <https://www.agkablosu.com/index.php?route=blog/article&article_id=17>
Acesso em: 15 set. 19

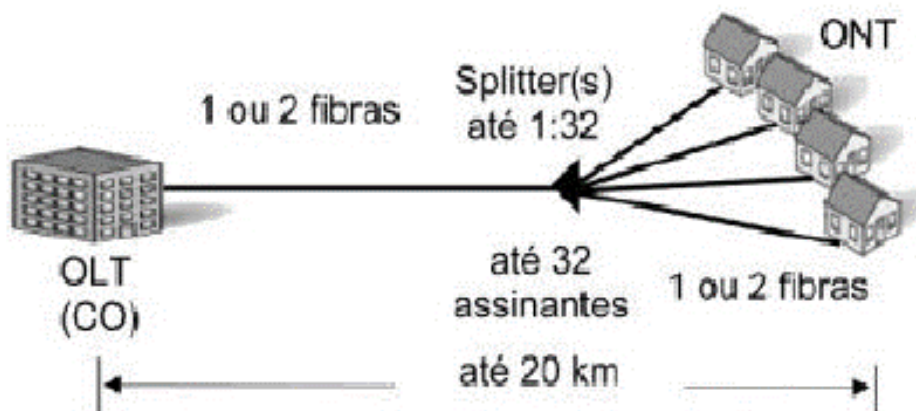
4.5 TECNOLOGIA PON

A tecnologia PON foi desenvolvida com intuito de disponibilizar, acesso ponto a multiponto entre usuário. Combinada com a arquitetura FTTX que é o método de distribuição mais usados nas redes de acesso (PINHEIRO, 2017).

“Uma rede óptica PON é uma topologia de rede que compartilha, entre duas ou mais fibras ópticas os sinais transmitidos por uma única fibra, para isso utiliza um divisor óptico (*optical splitter*), conhecido como “*splitter*”, que é um dispositivo passivo, não regenera ou amplifica o sinal. Um equipamento chamado de *Optical Line Terminal* (OLT) é o dispositivo principal deste sistema, centro desta arquitetura ponto-multiponto. Nas pontas, fazendo interface com o usuário, temos o *Optical Network Unit* (ONU) ou *Optical Network Terminal* (ONT). “(PARKS, 2013).

Na Figura 8 apresenta-se a topologia de uma rede PON.

Figura 8 - Topologia PON

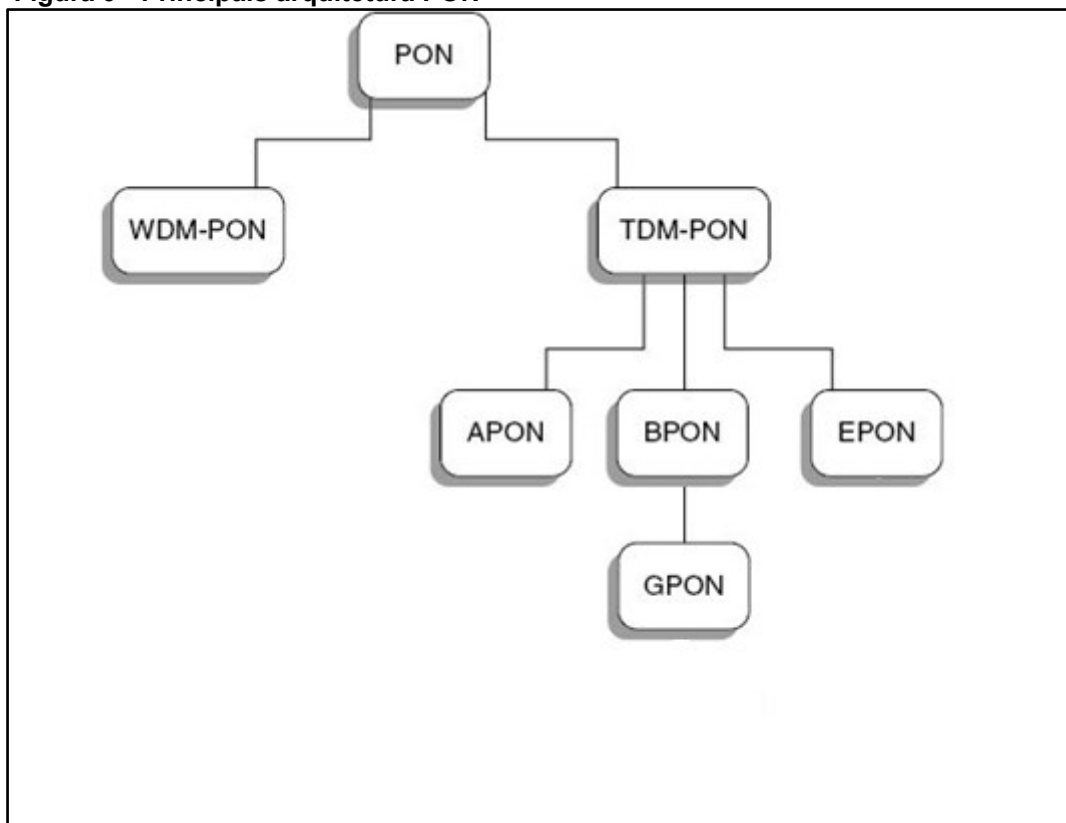


Fonte: PARKS (2013)

Com a criação desta nova tecnologia surgiram derivações como APON (*Passive Optical Network over Asynchronous Transfer Mode*), BPON (*Broadband Passive Optical Network*), EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) até chegar aos modelos atuais que são GPON (GONÇALVES, 2009).

Na Figura 9 observa-se as fases de desenvolvimento da rede PON.

Figura 9 - Principais arquitetura PON



Fonte: PINHEIRO (2017)

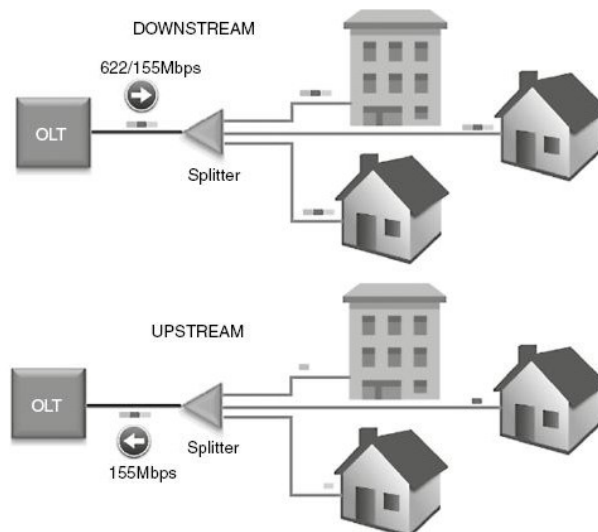
4.6 APON

Até a década de 90, as primeiras redes ópticas passivas foram desenvolvidas utilizando o conceito de multiplexação no tempo TDM (*Time Division Multiplexing*).

A primeira geração de redes PON foi designada por APON, em 1995, quando o FSAN (*Full Service Access Network*) padronizou a rede óptica passiva em modo de transferência assíncrona, o padrão foi aceito pela união internacional de Telecomunicações como norma ITU-T G.983.

Nessa rede a conectividade é garantida através da multiplexação no tempo ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), as informações são enviadas para as ONUS (*Optical Network Unit*) que fazem a distribuição através de um *splitter* como pode-se observar na Figura 10 (PINHEIRO, 2017).

Figura 10 - Arquitetura APON



Fonte: PINHEIRO (2017)

Nesse formato a transmissão dos pacotes ocorre em um tamanho fixo de 53 bytes por pacote. A arquitetura atende os usuários utilizando fibra monomodo com distância limitada a 20 Km da central e com o número máximo de 32 ONTs.

A taxa de transmissão no sentido *downstream* pode chegar até 622 Mbps em tráfego contínuo de broadcast usando TDM, e 155 Mbps no sentido *upstream* (PINHEIRO, 2017).

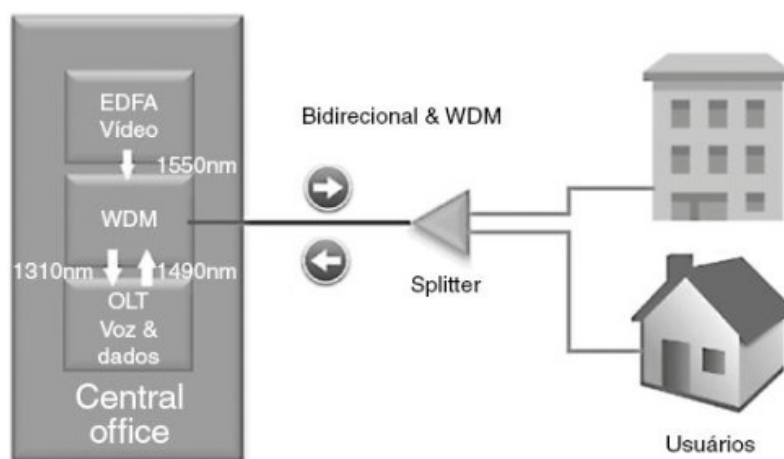
4.7 BPON

A Broadband PON ou BPON introduziu algumas mudanças em relação ao APON.

A ITU (*International Telecommunication Union*) aprovou a norma ITU-T G.983.3 no qual a capacidade de enlace foi estendida para 622 Mbps simétrico no canal de *upstream* e 1.244 Mbps assimétrico no canal de *downstream*, agora a tecnologia permitia o tráfego e dava suporte a WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), integrando dados, voz, serviços de vídeos e tornando possível a alocação dinâmica de largura de banda. (PINHEIRO, 2017).

Como pode-se observar na Figura 11 a topologia da tecnologia PON sempre é a mesma, o que muda é apenas a velocidade de *upstream* e *downstream* e consecutivamente os serviços que a tecnologia passa a dar suporte. (PINHEIRO, 2017).

Figura 11 - Arquitetura BPON



Fonte: PINHEIRO (2017)

4.8 EPON

A arquitetura EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) foi desenvolvida pela IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) na qual a rede é baseada no padrão Ethernet, em vez de ATM. Inclui o padrão Gigabit Ethernet PON (GEPON). Com a arquitetura EPON a taxa de transferência no sentido *downstream* chega a 1 Gbps e no sentido *upstream* também temos 1 Gbps.

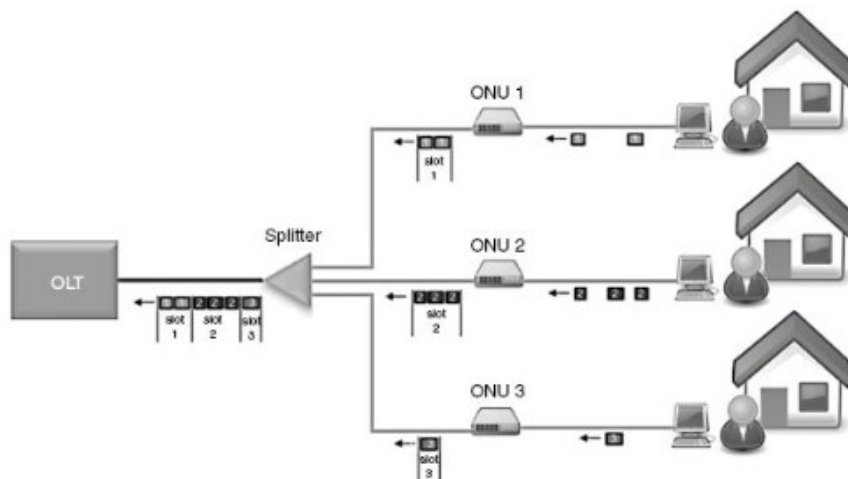
Na EPON no sentido de *downstream* os pacotes e Ethernet são enviados via *broadcasting*, ou *multicasting* a um grupo limitado de usuário.

No *splitter*, o tráfego é dividido em três sinais, cada um transporta todos os pacotes até o usuário final. O modem óptico de cada usuário é sincronizado para evitar colisões de pacotes, e a OLT (*Optical Line Terminal*) faz o reconhecimento de cada pacote por meio de um identificador de pacote.

A rede EPON pode ser implementada utilizando-se de dois ou três comprimentos de ondas diferentes. Utilizam-se dois comprimentos para tráfego de dados, voz e comutação de vídeos digitais sobre IP (IPTV). Três comprimentos são exigidos para tráfego de serviços de radiofrequência de um vídeo.

A Figura 12 apresenta a arquitetura EPON que pode usar fatores de divisão de *splitter* 1:16 (PINHEIRO, 2017).

Figura 12 - Arquitetura EPON



Fonte: PINHEIRO (2017)

4.9 GPON

A tecnologia GPON, ou Gigabit PON, é a evolução da APON não sendo dependente da tecnologia ATM, pois insere um novo protocolo intermediário para encapsulação de células ATM e TDM (GONÇALVES, 2009).

A arquitetura é a segunda geração de uma série de recomendações da ITU na série de normas G.984.x que se iniciou no ano de 2001.

O GPON é baseado em um protocolo de quadros genéricos GFP (*Generic Framing Protocol*) que é específico para encapsulamento e transporte de pacotes IP. O GFP gera quadros com comprimento de até 65.535 bytes por quadro. As taxas de operação são 1,25 Gbps e 2,5 Gbps na direção *downstream* e 1,5 Gbps e 2,5 Gbps na direção *upstream*.

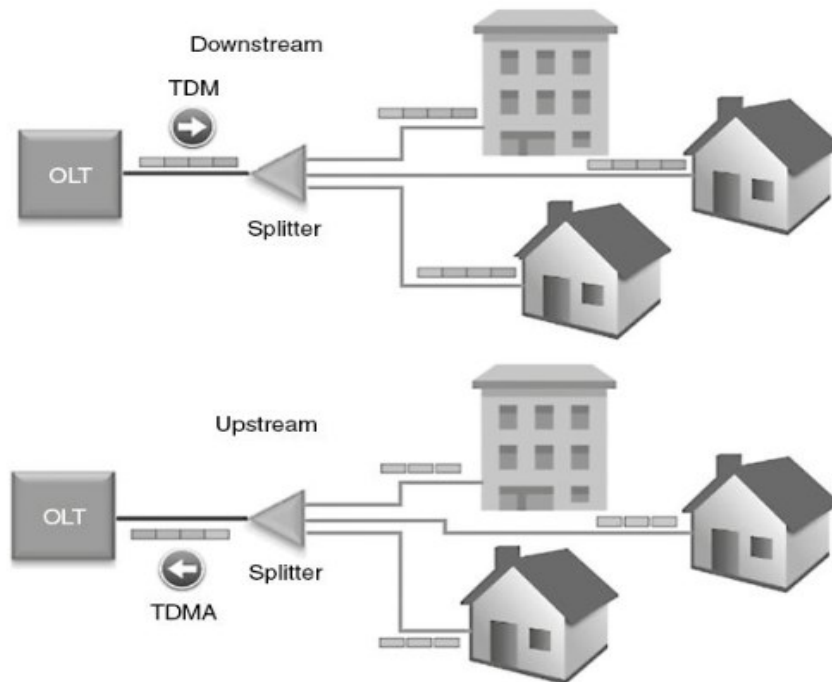
O padrão GPON permite o alcance lógico de 60 km a partir da central de equipamentos e físico de 20 Km, uma porta da OLT pode suportar até 128 modem ópticos, mas é indicado apenas 32 por porta da OLT. (PINHEIRO, 2017).

A eficiência da rede GPON está em torno de 93% para *upstream* e 94% para *downstream*.

A Figura 13 apresenta um exemplo da transmissão GPON os pacotes Ethernet e TDM são encapsulados na direção *downstream*, a transferência ocorre via broadcast a partir da OLT, passa pelos *splitters* até chegar em cada ONU/ONT, que identifica o tráfego por endereçamento IP. No sentido *upstream* é usado a técnica de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA), que por alocação do tempo permite controlar quando cada ONU/ONT vai transmitir seus dados.

O GPON combinado com a arquitetura FTTH é a tecnologia mais utilizada hoje em redes de acesso (PINHEIRO, 2017).

Figura 13 - Arquitetura GPON



Fonte: PINHEIRO (2017)

5 INTEGRIDADE

É importante garantir integridade de todas as informações de usuário de uma rede, tornando-se posteriormente possível a implementação de segurança da informação.

Segundo Lyra (2015) quando se fala em segurança da informação, significa a tomar ações para garantir a confidencialidade, integridade, disponibilidade e demais aspectos tornando possível o desenvolvimento de tecnologias confiáveis.

Contudo não devemos confundir a ideia do dado ser transmitido de maneira íntegro com a segurança do dado.

Nesse trabalho implementaremos uma parte importante em relação a integridade, utilizaremos o ambiente MATLAB para simulação de um sinal modulado BPSK e CRC. Esse CRC é utilizado na norma ITU de comunicação ópticas como uma técnica para detectar erros na transmissão dos dados dentro da camada de enlace.

Os códigos de verificação de erro na camada de enlace, são projetados para proteger contra erros na transmissão e no recebimento dos dados. Não há nenhum tipo de autenticação nos códigos, um invasor pode alterar uma mensagem e recalculá-la seu código de verificação sem que a substituição seja detectada.

Para se obter segurança em uma mensagem transmitida é necessário usar funções criptográficas e o CRC é armazenado em conjunto com os dados.

6 CAMADA DE ENLACE

Segundo Kurose (2013) em redes de computadores a camada responsável por fazer a ligação dos dados é chamada de enlace. A camada de enlace é a segunda camada no modelo *OSI* que inclui hospedeiro como roteadores, comutadores e pontos de acesso *Wi-Fi*.

A camada de enlace é responsável mover um datagrama (dados) de um nó até um nó adjacente através dos meios físicos descritos anteriormente. Ela também presta os serviços como:

- Enquadramento (encapsulamento dos datagramas em quadros incluído um cabeçalho).
- Acesso ao enlace usando o protocolo MAC (*Media Access Control*).
- Entrega confiável (fornece serviço confiável de entrega, garantindo que vai transportar sem erro cada datagrama da camada de rede pelo enlace).
- Detecção de erros (poder ser causados de forma proposital ou por falha na rede de comunicação, o receptor detecta a presença do erro, descarta o quando e pede uma retransmissão).

A camada de enlace é implementada no mesmo local da camada física em um adaptador de rede. No núcleo de um adaptador de rede fica localizado um chip que controla os serviços da camada de enlace.

Grande parte das funcionalidades do controlador da camada de enlace é realizado em hardware.

6.1 ENLACE SUJEITO A ERROS DE BITS

Toda o tráfego de dados de um enlace físico está sujeito a interferência ou falhas que podem provocar erros nos pacotes. A camada de enlace conta com ferramentas para detecção de erros visando a manutenção da integridade dos dados, em canais com ruído ou em sistemas de armazenamento não imunes a falhas. (KUROSE, 2013)

Em uma rede de fibra óptica existem diversos fatores que podem ocasionar o erro de transmissão. As causas podem ser propositalis ou apenas falhas nos cabos e equipamentos. Um exemplo é a dispersão, um fenômeno que ocorre na propagação de campos eletromagnéticos, causa uma diferença na velocidade de transmissão de um sinal que resultar em um erro no bit. (PINHEIRO, 2017).

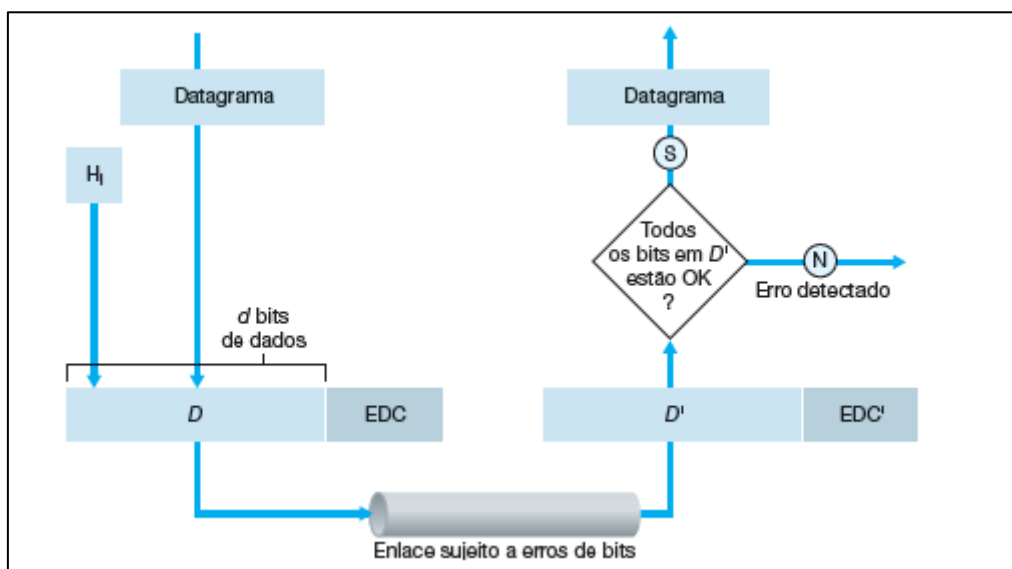
6.2 DETECÇÃO DE ERROS NA CAMADA DE ENLANCE

A Figura 14 ilustra um cenário para detecção e correção de erros. Para que os dados D fiquem protegidos contra erros na transmissão eles são aumentados com bits de controle para detecção e correção (EDC - *error detection-and-correction*).

Os dados protegidos incluem datagramas que são gerados na camada de rede e informações de endereçamentos pertencentes a camada de enlace. Os Dados D e EDC são enviados através do enlace de fibra óptica e são recebidos no nó receptor como D' e EDC'.

O grande desafio do nó receptor é determinar se os dados recebidos são os mesmos que os enviados. Para responder esta questão é realizada a técnicas de detecção de erros nos dados transmitidos.

Figura 14 - Cenário para detecção e correção de erros.



Fonte: KUROSE (2013)

6.3 VERIFICAÇÕES DE PARIDADE

A verificação por paridade utiliza um bit de redundância adicionado pelo transmissor após ou antes da sequência de bits que pertence à mensagem.

Na paridade, o remetente inclui um bit adicional e escolhe o valor desse bit de modo que o número total de “1” (a informação original mais um bit de paridade) seja par. Em esquemas de paridade ímpar, o valor do bit de paridade é escolhido para que haja um número ímpar de “1”.

O receptor apenas precisa verificar quantos “1” existem na mensagem, se o método par for usado e for encontrado um número ímpar de “1” a mensagem contém um erro.

O grande problema do método é que se houver mais de um erro de bit dentro de um pacote a falha pode não ser detectada. (KUROSE, 2013).

6.4 VERIFICAÇÃO DE REDUNDÂNCIA CÍCLICA

Segundo Kurose (2013) Uma das principais técnica para detecção de erro usada nas redes de computadores de hoje é a verificação de redundância cíclica (CRC).

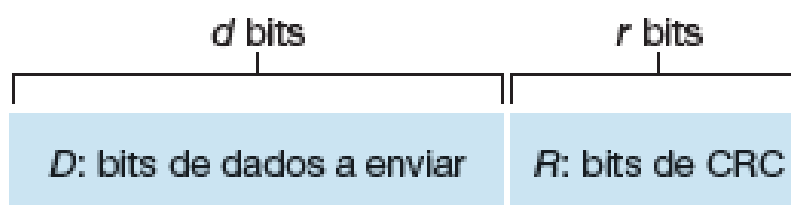
Os códigos CRC também são conhecidos como códigos polinomiais, já que é possível escrever em um padrão de bits como se fosse um polinômio. Por exemplo o polinômio.

$$B(x) = x^5 + x^4 + x^2 + x^0 = (110101)$$

O expoente de cada elemento indica a posição do bit 1 dentro do padrão de bits, este polinômio é denominado gerador.

Um código CRC funciona da seguinte forma, o remetente e o receptor devem primeiro concordar com o polinômio gerador, após o emissor envia um pacote D com d bits de dados. Um código CRC R com r bits de comprimento é gerado e anexado ao pacote D , assim como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Pacote transmitido



Fonte: KUROSE (2013)

O receptor e o emissor conhecem os padrões de bits denominado gerador representado por G , este gerador possui $(r + 1)$ bits de comprimento, o bit mais significativo do gerador (o da extrema esquerda) deve ser 1. A fórmula para calcular o CRC é dada pela seguinte expressão:

$$R = \text{resto} \frac{D \cdot 2^r}{G}$$

Para chegar ao valor R (CRC) é necessário deslocar os bits de dados para a esquerda r casas e adicionar 0 no final dos bits de dados.

A Figura 16 é um exemplo de como é calculado o CRC antes do envio dos dados.

Para realizar o cálculo é necessário pegar os bits de dados e acrescentar a quantidade de 0 de acordo com o grau do polinômio gerador, no exemplo foi utilizado um polinômio do terceiro grau (x^3). Os bits dos dados são alinhados com os zeros, e é realizado um XOR. No exemplo foi utilizado uma mensagem com 14 bits e o polinômio gerador.

Figura 16 – Cálculo no transmissor

	1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1	0 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 0 0

Fonte: Elaborado pelo autor

Na operação, é realizado um XOR e o divisor se move para se alinhar com o próximo bit 1.

Como o bit divisor, mas a esquerda zerou restando apenas os bits da direita estes bits correspondem ao valor R (função CRC).

Ao realizar a operação o transmissor enviara os dados e o valor CRC, o receptor por sua vez recebe os dados e realiza a validação da mensagem.

Na Figura 17 é possível observar o cálculo para validação da mensagem. O valor do CRC agora substitui os zeros do polinômio gerador como mostrado abaixo.

Figura 17 - Cálculo no Receptor

	1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1	1 0 0
XOR	<u>1 0 1 1</u>	
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0

Fonte: Elaborado pelo autor

Se o resto da operação realizada pelo receptor for apenas 0 não aconteceu nem um erro na transmissão.

6.5 MODULAÇÃO BPSK

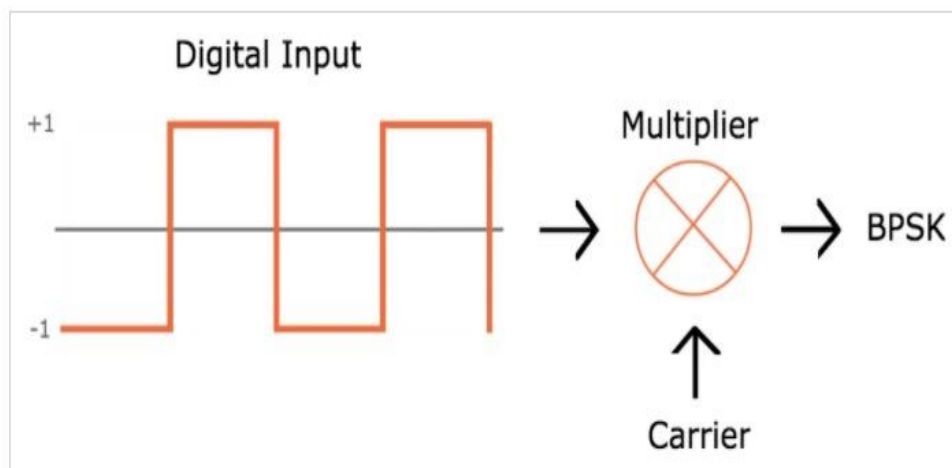
O método de modulação por deslocamento de fase (*Phase Shift Keying - BPSK*) é uma técnica de modulação digital que consiste em deslocar a fase da portadora de modo a representar 0 e 1, durante cada intervalo o bit deve permanecer constante.

Neste tipo de modulação, a onda portadora irá variar a fase para representar os bits, a amplitude da onda e sua frequência são constantes.

O BPSK é uma técnica simples já que apenas transmite símbolos reais separados por 180 graus. Isso reduz a probabilidade de interferência e, conseqüentemente, a taxa de erro de bits. (HAYKIN, 2011).

A Figura 18 demonstra o funcionamento da modulação, existe uma entrada de bits onde é aplicado a modulação, na saída é possível observar os a representação em uma constelação de números complexos.

Figura 18 - Modulação BPSK



Fonte: ALLABOUTCIRCUITS ⁵ (2013)

7 IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO CRC EM MATLAB

Implementou-se em MATLAB o protótipo de verificação de erro usando CRC e a modulação BPSK como descrito nos capítulos anteriores.

Através de simulação computacional foi criado no *software* um algoritmo com funções já pré-existentes na ferramenta para analisar dados gerados de maneira aleatória.

Na Figura 19 apresenta-se o algoritmo implementado para geração de CRC modulando por BPSK.

Figura 19 - Algoritmo para análise de erros

```

1 - clc;
2 - close all;
3
4
5 - poly = 'z4+z3+z2+z+1';
6 - crcgenerator = comm.CRCGenerator(poly)
7 - crcdetector = comm.CRCDetector(poly)
8
9 - numFrames = 20;
10 - frmError = zeros(numFrames,1);
11
12
13 - for k = 1:numFrames
14 -     data = randi([0 1],12,1);           % Geração dos dados
15 -     encData = crcgenerator(data);      % Geração CRC com os dados
16 -     modData = pskmod(encData,2);      % Modulação 2 PSK ou BPSK
17 -     rxSig = awgn(modData,5);          % Canal AWGN ,SNR = 3,5,7 dB comparar
18 -     demodData = pskdemod(rxSig,2);    % Demodulação BPSK
19 -     [~,frmError(k)] = crcdetector(demodData); % Detecção de erros nos quadros/frames
20 - end
21 - find(frmError)

```

Fonte: Elaborado pelo autor

⁵ Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/radio-frequency-analysis-design/radio-frequency-modulation/digital-phase-modulation-bpsk-qpsk-dqpsk/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

Todas as variáveis criadas recebem o retorno das funções a sua direita.

O polinômio gerador foi definido como $z^4 + z^3 + z^2 + z = 11110$ e as variáveis `crcgenerator` e `crcdetector` realizam a geração e a detecção do CRC.

Foi implementado uma estrutura de repetição for que transmite 20 quadros e uma variável denominada `frmError` que realiza a varredura e localiza em qual quadro ocorreu um erro.

A variável `data` gera dados aleatórios com o `randi` para simular uma informação transmitida, são gerados 12 bits. Após os dados serem gerados `encData` realiza a junção dos dados com o CRC, assim como estudado no capítulo 6.4.

A modulação BPSK é executada pela função `pskmod (encData,2)`, quando os dados gerados passam pela modulação e são convertidos em números imaginários, caso não aconteçam erros nos bits eles vão assumir os valores originalmente transmitidos.

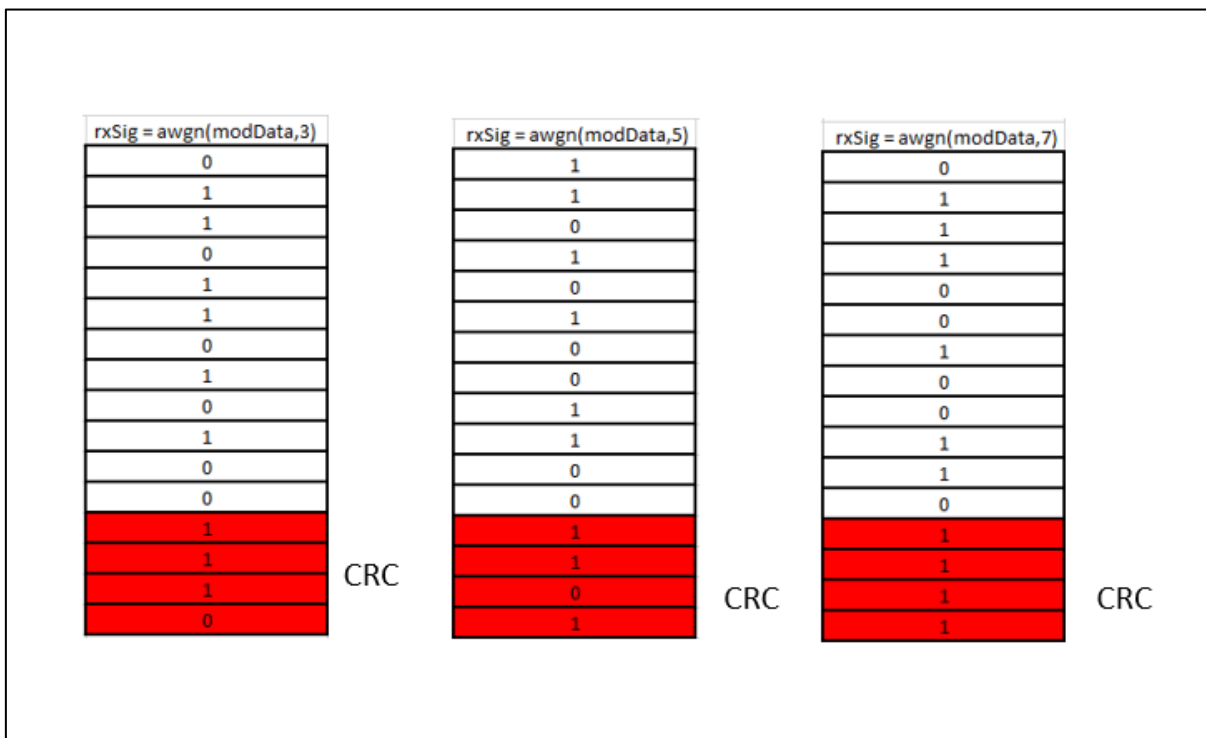
Para simular um ruído na rede afim de provocar erros nos dados, foi utilizado a variável `rxSig`. O valor utilizado na função é a relação sinal ruído (SNR), quanto menor o valor da SNR maior a quantidade de erros.

Para finalizar a função `pskdemod (rxSig,2)` realiza a demodulação do sinal BPSK e a variável `frmError` armazena a detecção de erros nos quadros.

7.1 RESULTADOS

Foi realizado três experimentos com os seguintes valores 3 dB, 5 dB e 7 dB. A Figura 20 contém os valores gerados aleatoriamente antes de ser realizado a modulação e a transmissão.

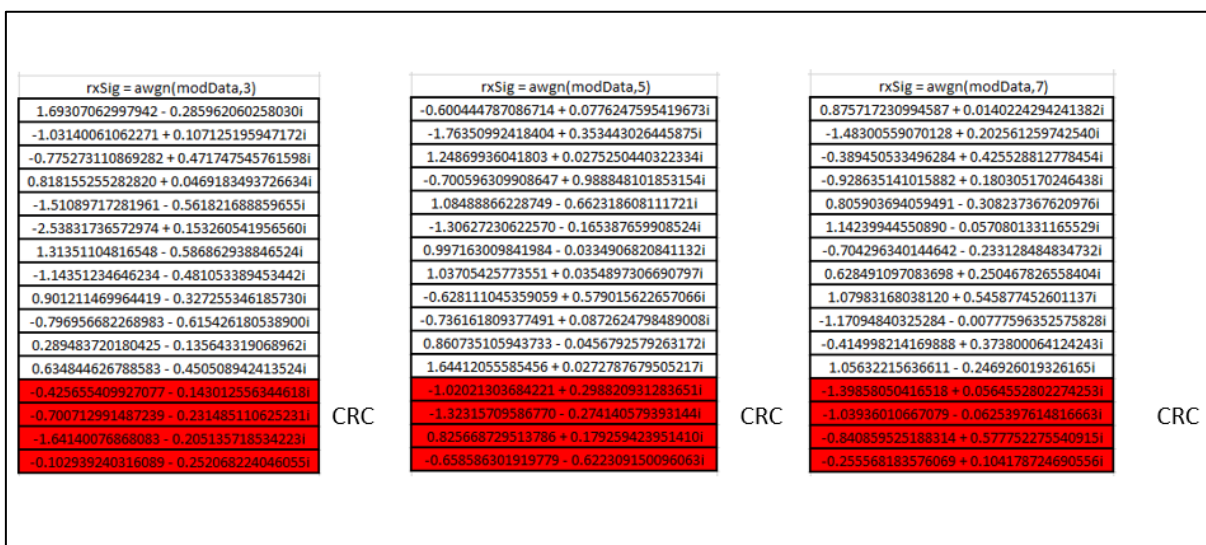
Figura 20 - Dados transmitidos



Fonte: Elaborado pelo autor

Após os dados serem modulados eles assumem valores de números complexos, o valor da rxSig realiza a simulação de ruídos na rede ocasionando erro nos valores. Na Figura 21 temos os dados demodulados em números complexos.

Figura 21 - Dados em números complexos

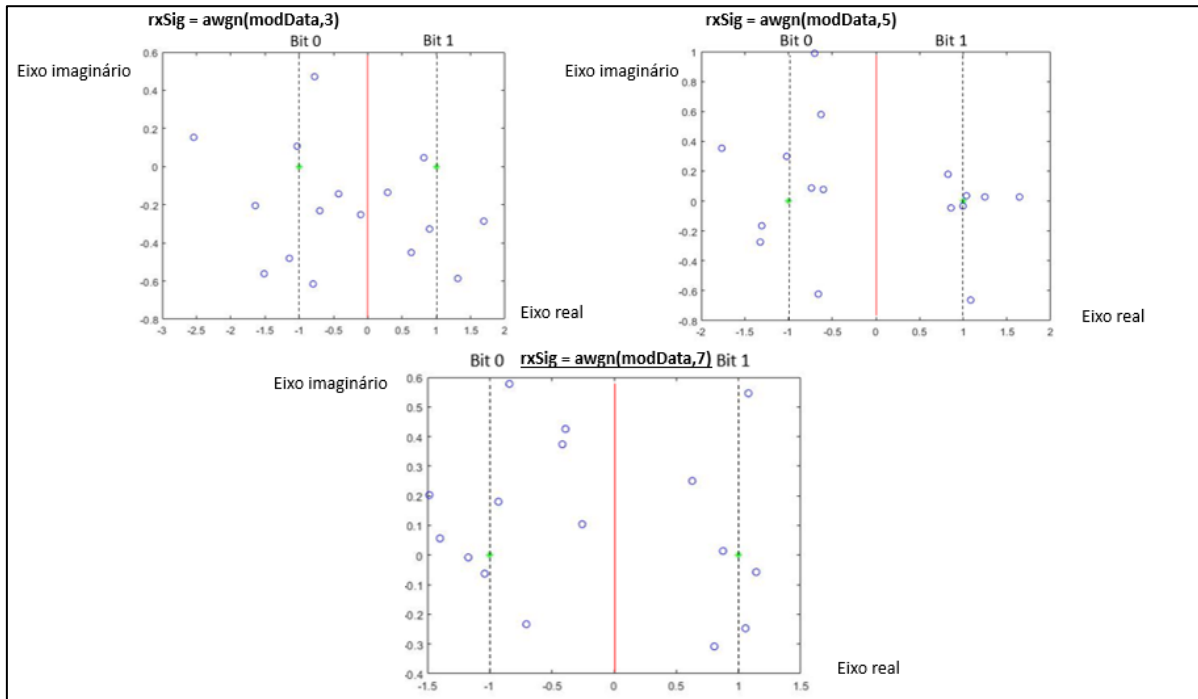


Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 22 é possível observar o diagrama de constelação gerado pelo software, onde é ilustrado a ação do ruído nos dados.

Quanto mais próximo do eixo 0 maior a chance de o dado assumir um valor diferente de 1 ou 0.

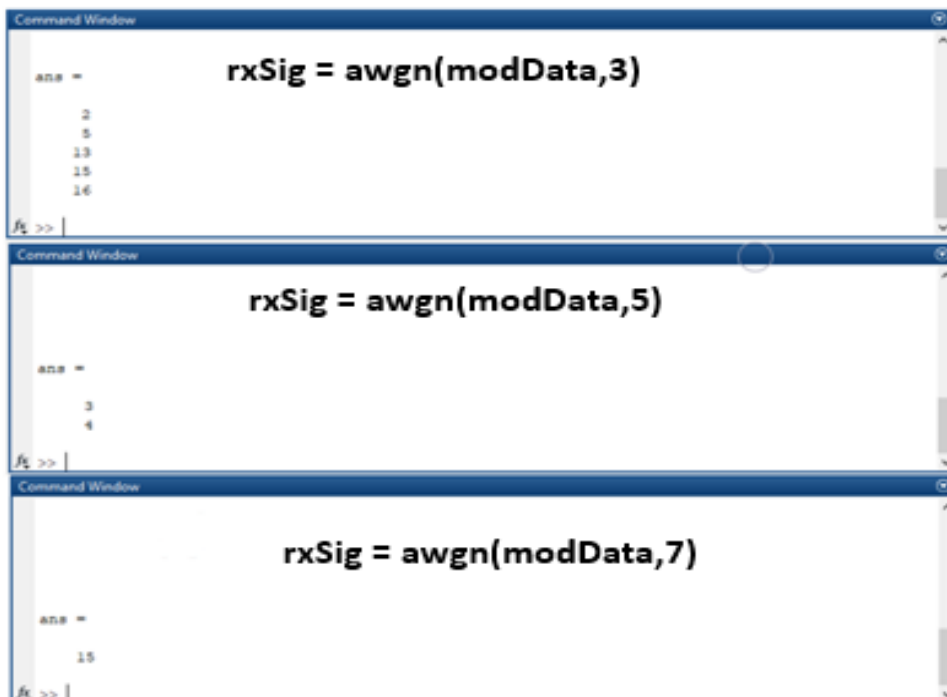
Figura 22 - Diagrama de constelação



Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultado a transmissão com $rxSig$ como o valor de 3 dB resultou em cinco erros, o valor de 5 dB resultou em dois erros e 7 dB resultou em um erro. Os resultados podem ser visualizados na Figura 23.

Figura 23 - Resultados



Fonte: Elaborado pelo auto

CONCLUSÃO

A tecnologia de redes de fibra óptica é uma boa opção considerando a escalabilidade, baseado na crescente expansão da necessidade de consumo de banda e no aumento de usuários de internet.

Acompanhado da arquitetura de rede FTTH a fibra óptica tem viabilizado o avanço de novas tecnologias.

Dentro deste complexo mundo é necessário a utilização de normas e protocolos a fim de garantir o funcionamento de cada parte do quebra cabeça.

Desta forma, este estudo demonstrou quais são os tipos de arquitetura de redes de acesso usando fibra óptica e como é feito a verificação de erro usando a verificação de redundância cíclica afim de garantir a integridade dos dados.

No experimento é possível observar que quanto maior o ruído em uma rede maior será a taxa de erros nos bits

O uso do código CRC é parte vital de uma rede sujeita a falhas, e como foi demonstrado no experimento ele atua de maneira precisa para garantir a integridade dos dados transmitidos através da rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLABOUTCIRCUITS. **Digital Phase Modulation: BPSK, QPSK, DQPSK**. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/radio-frequency-analysis-design/radio-frequency-modulation/digital-phase-modulation-bpsk-qpsk-dqpsk/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FURUKAWA. **Treinamento em Fundamentos de Fibras Ópticas: 1.ed.** São Paulo: FCS, 2010.

GONÇALVES, C. M. C. **GPON/FTTH: FTTH_Fiber to the Home**. Dissertação de Mestrado, Centro de Competências Exatas e de Engenharia Universidade da Madeira, 2009.

HAYKIN, Simon. **Sistemas de Comunicação**. 1. ed. porto alegre: bookman, 2011

KABLOSU, A. **FTTX Nedir** 2018. Disponível em: https://www.agkabloso.com/index.php?route=blog/article&article_id=17
Acesso: 18 nov 2019.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

LYRA, Mauricio Rocha. **Governança da Segurança da Informação**. 1. ed. Brasília: Edição do Autor, 2015.

OLIVEIRA, P. B. de. **Soluções de atendimento em fibra óptica I**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1/>. Acesso em: 13 nov. 2019.

PARKS. **Treinamento Gpon: Certificação Parks**. 4. ed. Cachoeirinha - Rs: Parks S.A. Comunicações Digitais, 2013.

PINHEIRO, J. **Redes ópticas de acesso em telecomunicações**. São Paulo: Elsevier Editora, 2017.

TRONCO, T. R. **Redes de nova geração**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2006.